

30.11.2004

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

REC'D 23 DEC 2004

WIPO

PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 1 1 月 2 8 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 3 9 8 6 7 0
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 3 9 8 6 7 0]

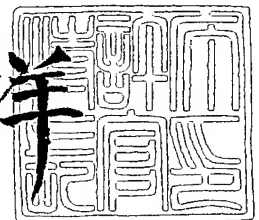
出 願 人 日 本 電 気 株 式 有 限 公 司
Applicant(s):

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 8 月 2 7 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川 洋



【書類名】 特許願
【整理番号】 33409986
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01S 5/00
H01S 5/34

【発明者】
【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内
【氏名】 小林 隆二

【特許出願人】
【識別番号】 000004237
【氏名又は名称】 日本電気株式会社

【代理人】
【識別番号】 100109313
【弁理士】
【氏名又は名称】 机 昌彦
【電話番号】 03-3454-1111

【選任した代理人】
【識別番号】 100085268
【弁理士】
【氏名又は名称】 河合 信明
【電話番号】 03-3454-1111

【選任した代理人】
【識別番号】 100111637
【弁理士】
【氏名又は名称】 谷澤 靖久
【電話番号】 03-3454-1111

【手数料の表示】
【予納台帳番号】 191928
【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 0213988

【書類名】 特許請求の範囲

【請求項 1】

半導体基板上に、選択成長で形成された少なくとも量子井戸活性層を含む第 1 の半導体積層体としてのダブルヘテロメサストライプと、前記選択成長の際に前記ダブルヘテロメサストライプの両側に一定距離だけ離間して同時に形成された第 2 の半導体積層体としての再結合層とを有する半導体レーザにおいて、

【数 1】

$$\varepsilon (\text{average}) = \frac{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_i \times d_i)}{d} \quad d = \sum_{i=1}^n d_i$$

平均歪量 $\varepsilon (\text{average})$ 、臨界歪量 $\varepsilon (\text{critical})$ を上式のように定義した場合、

(但し、歪を有する半導体層の数を j 個とし、それら歪を有する半導体層で挟まれた無歪の半導体層の数を k 個として、 n 個 ($n = j + k$) の半導体層を積層してなるダブルヘテロメサストライプまたは再結合層において、 i 番目の半導体層の歪量を ε_i 、 i 番目の半導体層の厚さを d_i とする)

【数 2】

$$\varepsilon (\text{critical}) = \frac{b}{4\pi d} \cdot \frac{(1 - p \cdot (\cos \alpha)^2)}{(1 + p) \cdot \cos \lambda} \cdot \left[\ln \left(\frac{4d}{b} \right) + 1 \right]$$

(但し、 b : バーガーズベクトル、 p : ポアソン比、 α : バーガーズベクトルと転位線のなす角、

λ : 滑り方向と、滑り面と積層面の交線に垂直で積層面内にある方向のなす角)

前記ダブルヘテロメサストライプの平均歪量 $\varepsilon_1 (\text{average})$ は臨界歪量 $\varepsilon_1 (\text{critical})$ 以下の圧縮歪 ($\varepsilon_1 (\text{critical}) \geq \varepsilon_1 (\text{average}) > 0$) で、且つ、前記再結合層の平均歪量 $\varepsilon_2 (\text{average})$ は臨界歪量 $\varepsilon_2 (\text{critical})$ 以下の引張り歪 ($-\varepsilon_2 (\text{critical}) \leq \varepsilon_2 (\text{average}) < 0$) または無歪 ($\varepsilon_2 (\text{average}) = 0$) であることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項 2】

前記選択成長層に少なくとも光閉じ込め層と量子井戸活性層を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ。

【請求項 3】

前記選択成長層に AlInAs または AlGaInAs が含まれていることを特徴とする請求項 1、または、請求項 2 に記載の半導体レーザ。

【請求項 4】

前記ダブルヘテロメサストライプと前記再結合層との間の距離が $15 \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれかに記載の半導体レーザ。

【請求項 5】

半導体基板上に一对のストライプ状の誘電体マスクを形成し、前記誘電体マスクで挟まれた狭幅部に活性層を含む第 1 の半導体積層体としてのダブルヘテロメサストライプを形成すると同時に、前記誘電体マスクの両外側の広幅部に第 2 の半導体積層体としての再結合層を形成する工程を含む半導体レーザの製造方法において、

【数 3】

$$\varepsilon (\text{average}) = \frac{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_i \times d_i)}{d} \quad d = \sum_{i=1}^n d_i$$

平均歪量 ϵ (average)、臨界歪量 ϵ (critical) を上式のように定義した場合、

(但し、歪を有する半導体層の数を j 個とし、それら歪を有する半導体層で挟まれた無歪の半導体層の数を k 個として、 n 個 ($n = j + k$) の半導体層を積層してなるダブルヘテロメサストライプまたは再結合層において、 i 番目の半導体層の歪量を ϵ_i 、 i 番目の半導体層の厚さを d_i とする)

(但し、 b : バーガーズベクトル、 p : ポアソン比、 α : バーガーズベクトルと転位線のなす角、

λ : 滑り方向と、滑り面と積層面の交線に垂直で積層面内にある方向のなす角)

【数 4】

$$\epsilon \text{ (critical)} = \frac{b}{4\pi d} \cdot \frac{(1-p \cdot (\cos \alpha)^2)}{(1+p) \cdot \cos \lambda} \cdot \left\{ \ln \left(\frac{4d}{b} \right) + 1 \right\}$$

前記ダブルヘテロメサストライプの平均歪量 ϵ_1 (average) は臨界歪量 ϵ_1 (critical) 以下の圧縮歪 ($\epsilon_1 \text{ (critical)} \geq \epsilon_1 \text{ (average)} > 0$) で、且つ、前記再結合層の平均歪量 ϵ_2 (average) は臨界歪量 ϵ_2 (critical) 以下の引張り歪 ($-\epsilon_2 \text{ (critical)} \leq \epsilon_2 \text{ (average)} < 0$) または無歪 ($\epsilon_2 \text{ (average)} = 0$) であることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項 6】

前記選択成長層に少なくとも光閉じ込め層と量子井戸活性層を含むことを特徴とする請求項 5 に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項 7】

前記選択成長層に AlInAs または AlGaInAs が含まれていることを特徴とする請求項 5、または、請求項 6 に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項 8】

前記ダブルヘテロメサストライプと前記再結合層との間の距離が 0 より大きく $15 \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項 5 から 7 のいずれかに記載の半導体レーザの製造方法。

【書類名】明細書

【発明の名称】半導体レーザとその製造方法

【技術分野】

【0001】

本発明は半導体レーザとその製造方法に関し、特に選択成長により導波路を形成した半導体レーザとその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

量子井戸活性層に歪を導入して価電子帯構造を変形させることにより、レーザ特性が向上することが知られている。しかし、臨界歪量を超えて歪を導入すると歪の緩和により転位が発生し、半導体レーザの信頼性を低下させてしまう。そのため、バリア層に井戸層と逆方向の歪を導入し、平均歪量が臨界歪量を超えないようにする歪補償型量子井戸構造が提案されている。歪補償型量子井戸構造では、平均歪量がほぼゼロに近いところで量子井戸の光学的特性や半導体レーザの特性が良好であることが非特許文献1や非特許文献2、非特許文献3に報告されている。

【0003】

【数1】

$$\varepsilon \text{ (average)} = \frac{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_i \times d_i)}{d} \quad d = \sum_{i=1}^n d_i$$

【0004】

尚、ここで、平均歪量 ε (average) は上式のように定義する。

但し、歪を有する半導体層の数を j 個とし、それら歪を有する半導体層で挟まれた無歪の半導体層の数を k 個として、 n 個 ($n = j + k$) の半導体層を積層してなるダブルヘテロメサストライプまたは再結合層において、 i 番目の半導体層の歪量を ε_i 、 i 番目の半導体層の厚さを d_i とする。

【0005】

一方、全選択MOVPE (Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy) 成長による半導体レーザ (ASM-LD: All Selective MOVPE grown Laser Diode) は、エッチングプロセス不要で埋め込みヘテロ構造 (BH: Buried Heterostructure) が作製できるという特徴を持つ。

【0006】

図8に非特許文献4に記載されているASM-LDの構造図を示す。(001)面を成長面とするn型InP基板1上に歪多重量子井戸活性層3aを含むダブルヘテロメサストライプ6 (以降、DHメサストライプと呼ぶ) が形成され、p型InP電流ブロック層7、n型InP電流ブロック層8で埋め込まれている。また、その上にp型InPクラッド層9、p型InGaAsコンタクト層10が形成されている。そして、DHメサストライプ6の両側の所定位置に寄生容量低減を図るために、DHメサストライプ6を含むリッジ部領域とその両側領域とに分けるn型InP基板1に達する2本の溝が形成されている。そして、下面にはn型電極11が、上面には絶縁膜に設けた開口部を通して接続されたp型電極12が、それぞれ形成されている。

【0007】

次に、図9に製造工程を示す。まず、(001)面を成長面とするn型InP基板1上に[110]方向に沿って2本のストライプ状の酸化シリコンマスク13 (マスク幅5 μ m) を形成する。ここで、この2本の酸化シリコンマスク13が選択成長における成長阻止マスクとなるために、2本の酸化シリコンマスク13で挟まれた狭幅部14および、2

本の酸化シリコンマスク 13 の両外側の広幅部 15 とが選択成長可能な領域となる (図 9 (a))。

【0008】

そして、この狭幅部 14 に選択MOVPE成長により n 型 InP バッファ層 18、歪多重量子井戸活性層 3a、p 型 InP キャップ層 5 で構成される第 1 の半導体積層体としての DH メサストライプ 6 を作製する。尚、この選択MOVPE成長の際に同時に広幅部 15 にも第 2 の半導体積層体としての再結合層 16 が形成される (図 9 (b))。

【0009】

次に、セルフアラインプロセスで DH メサストライプ 6 のトップのみに新たな酸化シリコンマスク 17 を形成し (図 9 (c))、それを成長阻止マスクとして p 型 InP 電流ブロック層 7、n 型 InP 電流ブロック層 8 を選択成長する (図 9 (d))。

そして、酸化シリコンマスク 17 を除去した後、p 型 InP クラッド層 9 と p 型 InGaAs コンタクト層 10 を結晶成長させる (図 9 (e))。その後、n 型 InP 基板に達する 2 本の溝を形成し、下面の n 型電極および、上面の p 型電極を形成するなどして半導体レーザが完成する。

【0010】

【非特許文献 1】第 11 回インジウム・リンとそれに関連する材料の国際会議 技術要約書 47 頁、MoB1-2

【非特許文献 2】エレクトロニクス・レターズ 第 27 巻、第 14 号、1991 年、1268~1270 頁

【非特許文献 3】アプライド・フィジックス・レターズ 第 58 巻、1991 年、1952~1954 頁

【非特許文献 4】電子材料 1999 年、11 月号、32~36 頁

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

ASM-LD では隣接する半導体レーザ素子部との間隔を例えば $500\mu\text{m}$ 程度にした場合、図 10 に示すように一対の酸化シリコンマスク 13 の両外側に幅 $490\mu\text{m}$ 程度の広幅部 15 が形成される。このため、狭幅部 14 に量子井戸活性層を含む第 1 の半導体積層体としての DH メサストライプを選択成長させる際に、同時にこの広幅部 15 にも DH メサストライプとは組成、厚さの異なる第 2 の半導体積層体としての再結合層が形成されることになる。この部分は、図 9 (e) に示すように InP の pnpn のサイリスタ構造で構成される電流ブロック層に InP よりバンドギャップの小さい再結合層 16 を挿入した形になっており、pnpn サイリスタのゲート電流として作用するキャリアをこの層において再結合させることによりサイリスタを構成する npn トランジスタの電流利得を低減している。その結果、サイリスタのターンオン動作が抑制され、電流ブロック特性が向上する。

【0012】

しかし、狭幅部に選択成長させる DH メサストライプ 6 をその平均歪量 ϵ_1 (average) が無歪 (ϵ_1 (average) = 0) になるように成長させると、広幅部に形成される再結合層 16 の平均歪量 ϵ_2 (average) が引張歪 (ϵ_2 (average) < 0) となり、各成長層の厚さや組成などによっては平均歪量 ϵ_2 (average) が臨界歪量 ϵ_2 (critical) を超えてしまう。その結果、再結合層 16 で格子緩和による転位が発生し、リーク電流の増加によるレーザ特性の悪化や転位が量子井戸活性層 3a に伸長して信頼性の低下をもたらす懸念があった。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明の半導体レーザは、半導体基板上に、選択成長で形成された少なくとも量子井戸活性層を含む第 1 の半導体積層体としてのダブルヘテロメサストライプと、前記選択成長の際に前記ダブルヘテロメサストライプの両側に一定距離だけ離間して同時に形成された

第2の半導体積層体としての再結合層とを有する半導体レーザにおいて、

【0014】

【数2】

$$\varepsilon (\text{average}) = \frac{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_i \times d_i)}{d} \quad d = \sum_{i=1}^n d_i$$

【0015】

平均歪量 ε (average)、臨界歪量 ε (critical) を上式のように定義した場合、

(但し、歪を有する半導体層の数を j 個とし、それら歪を有する半導体層で挟まれた無歪の半導体層の数を k 個として、 n 個 ($n = j + k$) の半導体層を積層してなるダブルヘテロメサストライプまたは再結合層において、 i 番目の半導体層の歪量を ε_i 、 i 番目の半導体層の厚さを d_i とする)

【0016】

【数3】

$$\varepsilon (\text{critical}) = \frac{b}{4\pi d} \cdot \frac{(1 - p \cdot (\cos \alpha)^2)}{(1 + p) \cdot \cos \lambda} \cdot \left\{ \ln \left(\frac{4d}{b} \right) + 1 \right\}$$

【0017】

(但し、 b : バーガーズベクトル、 p : ポアソン比、 α : バーガーズベクトルと転位線のなす角、

λ : 滑り方向と、滑り面と積層面の交線に垂直で積層面内にある方向のなす角)

ダブルヘテロメサストライプの平均歪量 ε_1 (average) は臨界歪量 ε_1 (critical) 以下の圧縮歪 ($\varepsilon_1 (\text{critical}) \geq \varepsilon_1 (\text{average}) > 0$) で、且つ、前記再結合層の平均歪量 ε_2 (average) は臨界歪量 ε_2 (critical) 以下の引張り歪 ($-\varepsilon_2 (\text{critical}) \leq \varepsilon_2 (\text{average}) < 0$) または無歪 ($\varepsilon_2 (\text{average}) = 0$) であることを特徴とする半導体レーザである。

【0018】

また、本発明の半導体レーザの製造方法は、半導体基板上に一对のストライプ状の誘電体マスクを形成し、前記誘電体マスクで挟まれた狭幅部に活性層を含む第1の半導体積層体としてのダブルヘテロメサストライプを形成すると同時に、前記誘電体マスクの両外側の広幅部に第2の半導体積層体としての再結合層を形成する工程を含む半導体レーザの製造方法において、

【0019】

【数4】

$$\varepsilon (\text{average}) = \frac{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_i \times d_i)}{d} \quad d = \sum_{i=1}^n d_i$$

【0020】

平均歪量 ε (average)、臨界歪量 ε (critical) を上式のように定義した場合、

(但し、歪を有する半導体層の数を j 個とし、それら歪を有する半導体層で挟まれた無歪の半導体層の数を k 個として、 n 個 ($n = j + k$) の半導体層を積層してなるダブルヘテロメサストライプまたは再結合層において、 i 番目の半導体層の歪量を ε_i 、 i 番目の半導体層の厚さを d_i とする)

【0021】

【数5】

$$\epsilon(\text{critical}) = \frac{b}{4\pi d} \cdot \frac{(1-p \cdot (\cos \alpha)^2)}{(1+p) \cdot \cos \lambda} \cdot \left\{ \ln\left(\frac{4d}{b}\right) + 1 \right\}$$

【0022】

(但し、 b : バーガーズベクトル、 p : ポアソン比、 α : バーガーズベクトルと転位線のなす角、

λ : 滑り方向と、滑り面と積層面の交線に垂直で積層面内にある方向のなす角)

前記ダブルヘテロメサストライプの平均歪量 $\epsilon 1$ (average) は臨界歪量 $\epsilon 1$ (critical) 以下の圧縮歪 ($\epsilon 1(\text{critical}) \geq \epsilon 1(\text{average}) > 0$) で、且つ、前記再結合層の平均歪量 $\epsilon 2$ (average) は臨界歪量 $\epsilon 2$ (critical) 以下の引張り歪 ($-\epsilon 2(\text{critical}) \leq \epsilon 2(\text{average}) < 0$) または無歪 ($\epsilon 2(\text{average}) = 0$) であることを特徴とする半導体レーザの製造方法である。

【0023】

(作用)

図11は非特許文献5に記載されている選択成長のメカニズムを示す概略図である。

【0024】

Al 、 Ga 、 In を含む半導体層を選択成長した場合、狭幅部14は(1)縦方向の気相拡散、(2)横方向の気相拡散、(3)誘電体マスク13表面からのマイグレーション、の3つのパスから成長種が供給されて組成、厚さが決定される。一方、広幅部15は主に(1)縦方向の気相拡散で成長種が供給される。そして、 Al 、 Ga 成長種の拡散長に比べて In 成長種の拡散長が短いために、狭幅部14の成長層が広幅部15の成長層に比べて In 過剰になり、また、層厚も厚くなる ($d > d_0$)。従って、狭幅部に成長させるDHメサストライプ6をその平均歪量 $\epsilon 1$ (average) が無歪 ($\epsilon 1(\text{average}) = 0$) になるように成長させると広幅部15に成長させた再結合層16の平均歪量 $\epsilon 2$ (average) は In 組成が小さくなり引張り歪 ($\epsilon 2(\text{average}) < 0$) となる。そして、成長条件によっては再結合層16の平均歪量 $\epsilon 2$ (average) が臨界歪量 $\epsilon 2$ (critical) を超えてしまい ($-\epsilon 2(\text{critical}) > \epsilon 2(\text{average})$)、格子緩和が起こる。このため、DHメサストライプ6の平均歪量 $\epsilon 1$ (average) を臨界歪量 $\epsilon 2$ (critical) 以内に圧縮歪側にずらすことにより、再結合層16の引張り歪を低減することができる。その結果、広幅部の再結合層16の平均歪量 $\epsilon 2$ (average) を臨界歪量 $\epsilon 2$ (critical) 以内に抑えることができ、格子緩和による転位の発生を抑制できる。

【0025】

【非特許文献5】ジャーナル・オブ・エレクトロニック・マテリアルズ 第25巻、第3号、1996年、401～406頁

【発明の効果】

【0026】

本発明によれば、ダブルヘテロメサストライプの平均歪量 $\epsilon 1$ (average) を臨界歪量 $\epsilon 2$ (critical) 以内に圧縮歪側ずらすことにより、ダブルヘテロメサストライプを選択成長で形成する際に、その両側に一定距離だけ離間して同時に形成される再結合層の引張り歪量 $\epsilon 2$ (average) を臨界歪量 $\epsilon 2$ (critical) 以内に低減できる。その結果、再結合層の格子緩和を抑制し、リーク電流が抑制された信頼性の高い半導体レーザを実現することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0027】

(第1の実施形態)

図1は、本発明の第1の実施形態である半導体レーザの断面構造である。

【0028】

n 型 InP (001) 基板1 (キャリア濃度 $n = 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) 上に n 型 $AlGaInAs$ 光閉じ込め層2 (厚さ $d = 40 \text{ nm}$ 、無歪、 $n = 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、

ウェル層 ($d=6\text{ nm}$ 、歪量 $\epsilon=+1.4\%$ 、ウェル数 $N_w=10$)、バリア層 ($d=10\text{ nm}$ 、 $\epsilon=-0.6\%$ 、バリア数 $N_b=9$) が AlGaInAs 層である歪補償型多重量子井戸活性層3、p型 AlGaInAs 光閉じ込め層4 ($d=40\text{ nm}$ 、無歪、キャリア濃度 $p=1\times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$)、p型 InP キャップ層5 ($d=300\text{ nm}$ 、 $p=1\times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$) で構成される第1の半導体積層体としてのダブルヘテロ (Double Hetero) メサストライプ6 (以降、DHメサストライプと呼ぶ) が形成され、p型 InP 電流ブロック層7 ($d=600\text{ nm}$ 、 $p=5\times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$)、n型 InP 電流ブロック層8 ($d=600\text{ nm}$ 、 $p=1\times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$) で埋め込まれている。そして、その上にp型 InP クラッド層9 ($d=1600\text{ nm}$ 、 $p=1\times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$)、p型 InGaAs コンタクト層10 ($d=300\text{ nm}$ 、無歪、 $p=1\times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$) が形成され、更に下面にn側電極11、上面にp側電極12がそれぞれ形成されている。また、DHメサストライプ6の両側には一定距離だけ離間して第2の半導体積層体として再結合層16が形成されている。

【0029】

次に、図2に製造工程を示す。

【0030】

結晶成長はMOVPE法を使い、原料としては、トリメチルアルミニウム (TMAI)、トリメチルガリウム (TMGa)、トリメチルインジウム (TMIn)、アルシン (AsH_3)、ホスフィン (PH_3) を用いる。また、n型とp型のドーピング原料としては、ジシラン (Si_2H_6) とジメチル亜鉛 (DMZn) をそれぞれ用いる。キャリアガスは水素で、成長圧力は 100 hPa で行う。

【0031】

まず、(001)面を成長面とするn型 InP 基板1上に厚さ 100 nm の酸化シリコン膜を熱CVDで堆積する。そして、一般的なフォトリソ技術を使って幅 $5\text{ }\mu\text{m}$ 、狭幅部14の開口幅 $1.6\text{ }\mu\text{m}$ からなる一対のストライプ状の酸化シリコンマスク13に加工する。ここで、この2本の酸化シリコンマスク13が選択成長における成長阻止マスクとなるため、2本の酸化シリコンマスク13で挟まれた狭幅部14および、2本の酸化シリコンマスク13の両外側の広幅部15とが選択成長可能な領域となる (図2(a))。ストライプの方向は $[110]$ 方向である。尚、隣接する半導体レーザの素子間隔 (隣接する狭幅部間の間隔) (図示せず) を $500\text{ }\mu\text{m}$ に設定したので、広幅部1の幅は約 $488\text{ }\mu\text{m}$ となる。

【0032】

次にそのn型 InP 基板1をMOVPE装置 (図示せず) にセットし、n型 AlGaInAs 光閉じ込め層2、歪補償型多重量子井戸活性層3、p側 AlGaInAs 光閉じ込め層4、p型 InP キャップ層5で構成されるDHメサストライプ6を選択成長で形成する。

【0033】

このとき、(111)B面におけるp型 InP キャップ層5の成長速度を促進することにより、n型 AlGaInAs 光閉じ込め層2、歪補償型多重量子井戸活性層3、p側 AlGaInAs 光閉じ込め層4の(111)B面がp型 InP 層5でカバーされ、その後のプロセスで基板を大気にさらしても、Alを含んだ層が酸化されることを抑制している。

【0034】

尚、この選択MOVPE成長の際に同時に広幅部15にも狭幅部14に成長したn型 AlGaInAs 光閉じ込め層2、歪補償型多重量子井戸活性層3、p側 AlGaInAs 光閉じ込め層4、p型 InP キャップ層5に対応した半導体積層体としての再結合層16が成長するが、各成長層の組成および、厚さは異なる (図2(b))。

【0035】

その後、MOVPE装置 (図示せず) から取り出し、セルフアラインプロセスによりメサトップのみに酸化シリコンマスク17を形成する (図2(c))。

【0036】

次に、再度MOVPE装置（図示せず）にセットし、p型InP電流ブロック層7、n型InP電流ブロック層8を選択成長で形成する（図2（d））。その後、MOVPE装置（図示せず）から取り出して酸化シリコンマスクを除去後、3回目のMOVPE成長でp型InPクラッド層9、p型InGaAsコンタクト層10を成長し、その後、n型InP基板1の研磨、n側電極11とp側電極12の形成をそれぞれ行い、図1で示したような半導体レーザを作製することができる。

【0037】

第1の実施形態の特徴は、DHメサストライプ6の平均歪量 ϵ_1 (average)を臨界歪量 ϵ_1 (critical)以内に圧縮歪み側にずらすことにより広幅部の再結合層16の引張歪量 ϵ_2 (average)を低減し、格子緩和を抑制している。その結果を図3、図4に示す。

【0038】

図3、図4は歪を有する成長層の平均歪量と成長層厚の関係をDHメサストライプ6と再結合層16について示した計算結果である。黒丸で示した点が各半導体層を順次成長した後の平均歪量（%）と累積の成長層厚（nm）であり、歪を有する成長層の第1層目から順に歪を有する最終成長層までの成長した結果を示してある。

【0039】

第1の実施形態の場合、DHメサストライプ6では、井戸層とバリア層が歪を有する成長層であり、再結合層16では、光閉じ込め層2、4、井戸層、バリア層に相当する半導体層が歪を有する成長層である。参考のために臨界歪量と臨界膜厚の関係も実線で示した。歪を有する最終層まで成長した時に平均歪量と累積の成長層厚で示される黒丸が実線の上側にある場合、その成長層は歪量・膜厚の臨界値を超えていることを示しており、歪の緩和により転位が発生する可能性がある。図3は、第1の実施形態で示した本発明の構造の計算結果であり、図4は、第1の実施形態で示した本発明の構造において、バリア層の歪量を -0.93% として非特許文献の1から3で示されたようにDHメサストライプでの平均歪量 ϵ_1 (average)をほぼ無歪（ ϵ_1 (average) = 0）にした構造の計算結果である。ここで、図4に示したようにDHメサストライプの平均歪量 ϵ_1 (average)をほぼ無歪（ ϵ_1 (average) = 0）にした場合では、再結合層の平均歪量 ϵ_2 (average)は引張歪側の臨界歪量を越えてしまっており、格子緩和による転位の発生が懸念される。しかし、これに対して、図3（本発明の構造）では、DHメサストライプでの平均歪量 ϵ_1 (average)が圧縮歪み側にシフトしており、それに伴って、再結合層の平均歪量 ϵ_2 (average)が減少している（図中右にシフトしている）。その結果、DHメサストライプの平均歪量 ϵ_1 (average)と再結合層の平均歪量 ϵ_2 (average)の両方共に臨界歪量以下におさまるようになっていくことがわかる。

【0040】

（第2の実施形態）

図5は、本発明の第2の実施形態による半導体レーザの断面構造である。

【0041】

n型InP（001）基板1（キャリア濃度 $n = 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）上にn型AlGaInAs歪光閉じ込め層2a（厚さ $d = 40 \text{ nm}$ 、歪量 $\epsilon = +0.31\%$ 、 $n = 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）、ウェル層（ $d = 6 \text{ nm}$ 、 $\epsilon = +1.4\%$ 、ウェル数 $N_w = 10$ ）および、バリア層（ $d = 10 \text{ nm}$ 、 $\epsilon = -0.93\%$ 、バリア数 $N_b = 9$ ）がAlGaInAs層である歪補償型多重量子井戸活性層3、p型AlGaInAs歪光閉じ込め層4a（ $d = 40 \text{ nm}$ 、 $\epsilon = +0.31\%$ 、キャリア濃度 $p = 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）、p型InPキャップ層5（ $d = 300 \text{ nm}$ 、 $p = 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）で構成される第1の半導体積層体としてのDHメサストライプ6が形成され、p型InP電流ブロック層7（ $d = 600 \text{ nm}$ 、 $p = 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）、n型InP電流ブロック層8（ $d = 600 \text{ nm}$ 、 $p = 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）で埋め込まれている。そして、p型InPクラッド層9（ $d = 1600 \text{ nm}$ 、 $p = 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）、p型InGaAsコンタクト層10（ $d = 300 \text{ nm}$ 、無歪、 $p = 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ）が形成され、更に下面にn側電

極 11、上面に p 側電極 12 がそれぞれ形成されている。また、DH ストライプ 6 の両側に離間して第 2 の半導体積層体としての再結合層 16 が形成されている。

【0042】

ここで、第 1 の実施形態との違いは、バリア層の歪量を -0.6% から -0.93% に増加させた点と、光閉じ込め層 2a、4a の歪量を無歪から $+0.31\%$ の圧縮歪に変更した点である。このように、バリア層の引張歪量を増加させることで歪補償型量子井戸活性層 3 の平均歪量をほぼゼロとし、光閉じ込め層 2a、4a に圧縮歪を新たに加えることで、DH メサストライプ 6 の平均歪量 ϵ_1 (average) と再結合層 16 の平均歪量 ϵ_2 (average) を臨界歪量以下に抑制している。

【0043】

図 6 は、第 2 の実施形態について歪を有する成長層の平均歪量と成長層厚の関係を DH メサストライプと再結合層について示した計算結果である。第 2 の実施形態の場合、DH メサストライプ 6 では、光閉じ込め層 2a、4a と、井戸層およびバリア層が歪を有する成長層であり、再結合層では、DH メサストライプ 6 の光閉じ込め層 2a、4a と、井戸層およびバリア層に相当する半導体層が歪を有する成長層である。

【0044】

図 6 に示すように、DH メサストライプの平均歪量 ϵ_1 (average) と再結合層 16 の平均歪量 ϵ_2 (average) とは、光閉じ込め層にくわえた圧縮歪により、図 4 に比べて共に圧縮歪側にシフトし、その結果、共に臨界歪量以下になっていることがわかる。

【0045】

図 7 に DH メサストライプと再結合層における平均歪量の誘電体マスクの幅（狭幅部と広幅部の距離）依存性を示す。DH メサストライプの光閉じ込め層、歪補償型量子井戸活性層は、マスク幅を変えても同じ歪量、厚さになるように成長条件を調整した。活性層の構造としては、ウェル層が厚さ 4 nm で $+1.4\%$ の圧縮歪、井戸数が 7、バリア層が厚さ 8 nm で -0.2% の引張歪である。この構造は、平均歪量が 0.389% で臨界歪の 0.414% に近い値である。また、AlGaInAs 光閉じ込め層は 20 nm である。

【0046】

図 7 に示すように、マスク幅が広くなるのに伴い、再結合層の平均歪量が引張歪側にシフトする。その結果、マスク幅が $15\text{ }\mu\text{m}$ を超えると再結合層の平均歪量が臨界歪量を超えてしまい、格子緩和が懸念される。従って、選択成長に用いる誘電体のマスク幅としては、0 より大きく $15\text{ }\mu\text{m}$ 以下に設定することが望ましい。

【0047】

以下に、図 7 の結果を詳細に説明する。同一成長条件で成長を行った場合、狭幅部 14 に成長する AlGaInAs 層（光閉じ込め層、ウェル層、バリア層）はマスク幅が増加するのに伴い In 組成が増加し、圧縮歪量が増加する。これは、図 10 で示した (2) 横方向の気相拡散と (3) 誘電体マスク表面からの成長種のマイグレーション、で供給される In 成長種の増加率が Al や Ga 成長種の増加率に比べて大きいためである。一方、広幅部 15 に成長する再結合層 16 は、(1) 縦方向の気相拡散で成長種が供給されるために、成長条件が同じであればマスク幅に依存せず同じ成長層が積層される。従って、狭幅部 14 に成長する DH ストライプの歪量をマスク幅に依存せず一定にするためには、マスク幅が広くなるのに伴い成長条件を調整することにより再結合層 16 の歪量を引張り歪側に設定する必要がある。その結果、図 7 のような関係になる。

【0048】

尚、図 7 でマスク幅が $4\text{ }\mu\text{m}$ 以下の領域では再結合層も圧縮歪みが印加される。これは、成長する DH メサストライプの構造に依存するが、DH メサストライプの圧縮歪み量以下で且つ臨界歪量以下なので問題にならない。

【0049】

また、本特許は AlInAs や AlGaInAs など Al と In を含む成長系で特に有効になる。これは、図 10 で示した成長メカニズムにおいて、(2) 横方向の気相拡散と (3) 誘電体マスク表面からの成長種のマイグレーションで供給される In 成長種の増加率と A

1 成長種の増加率の差が特に大きいためである。

【図面の簡単な説明】

【0050】

【図1】本発明の第1の実施形態である半導体レーザの断面構造図

【図2】本発明の第1の実施形態である半導体レーザの製造方法を示す工程図

【図3】本発明の第1の実施形態について、歪を有する成長層の平均歪量と成長層厚の関係をDHメサストライプと広幅部の再結合層について示した計算結果

【図4】DHメサストライプの平均歪量をゼロにした半導体レーザにおいて、歪を有する成長層の平均歪量と成長層厚の関係をDHメサストライプと広幅部の再結合層について示した計算結果

【図5】本発明の第2の実施形態である半導体レーザの断面構造図

【図6】本発明の第2の実施形態について、歪を有する成長層の平均歪量と成長層厚の関係をDHメサストライプと広幅部の再結合層について示した計算結果

【図7】DHメサストライプと再結合層における平均歪量の誘電体マスク幅（狭幅部と広幅部の距離）依存性を示す計算結果

【図8】非特許文献4に記載されているASM-LDの断面構造図

【図9】非特許文献4に記載されているASM-LDの製造方法を示す工程図

【図10】狭幅部と広幅部の関係を示す概略図

【図11】非特許文献5に記載されている選択成長のメカニズムを示す概略図

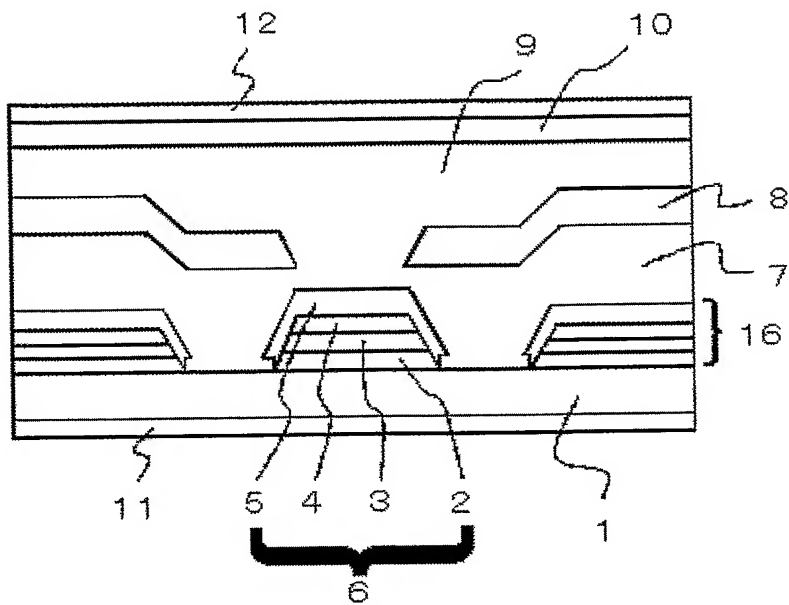
【符号の説明】

【0051】

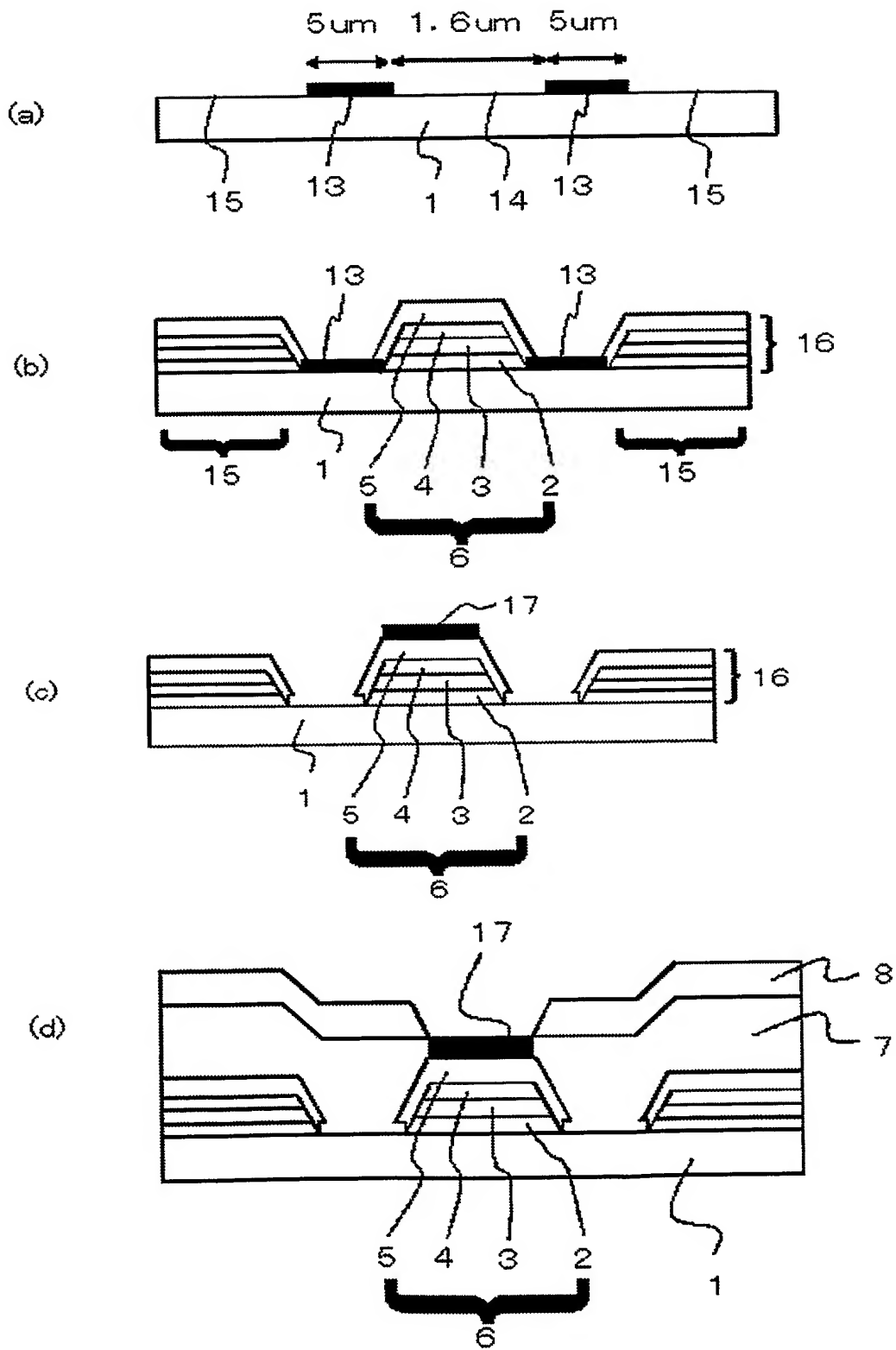
- 1・・・n型InP基板
- 2・・・n型AlGaInAs光閉じ込め層
- 2a・・・n型AlGaInAs歪光閉じ込め層
- 3・・・歪補償型歪多重量子井戸活性層
- 3a・・・歪多重量子井戸活性層
- 4・・・p型AlGaInAs光閉じ込め層
- 4a・・・p型AlGaInAs歪光閉じ込め層
- 5・・・p型InPキャップ層
- 6・・・DHメサストライプ
- 7・・・p型InP電流ブロック層
- 8・・・n型InP電流ブロック層
- 9・・・p型InPクラッド層
- 10・・・p型InGaAsコンタクト層
- 11・・・n側電極
- 12・・・p側電極
- 13・・・酸化シリコンマスク
- 14・・・狭幅部
- 15・・・広幅部
- 16・・・再結合層
- 17・・・酸化シリコンマスク

【書類名】 図面

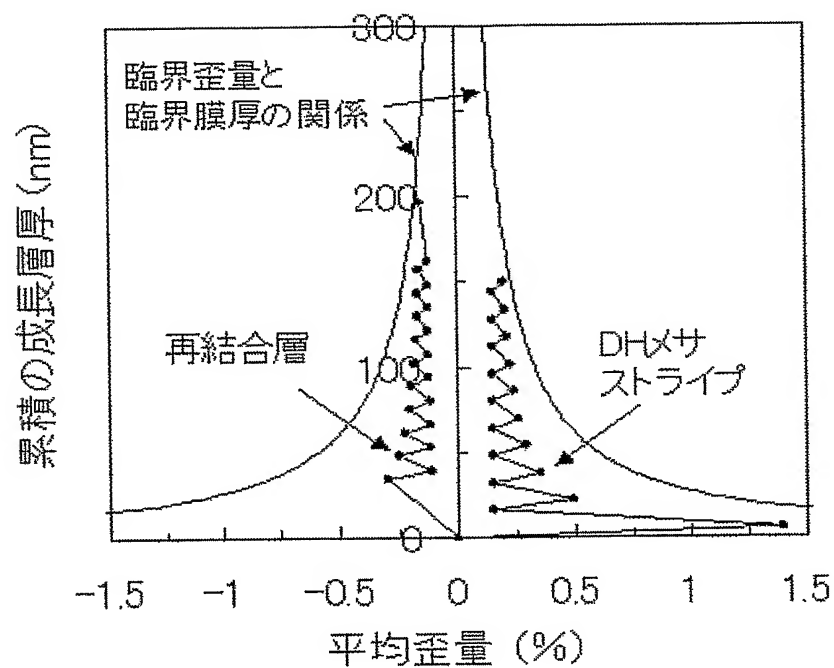
【図 1】



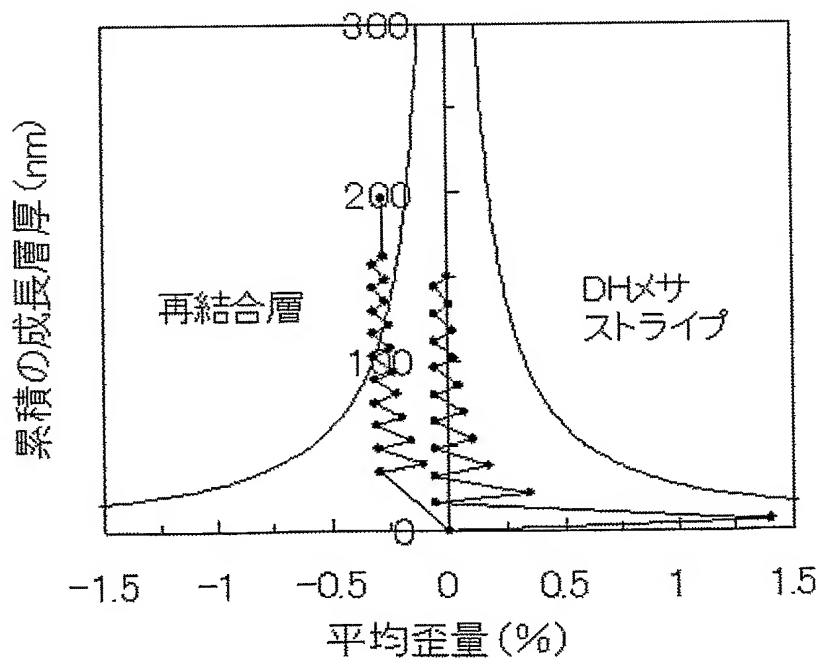
【図 2】



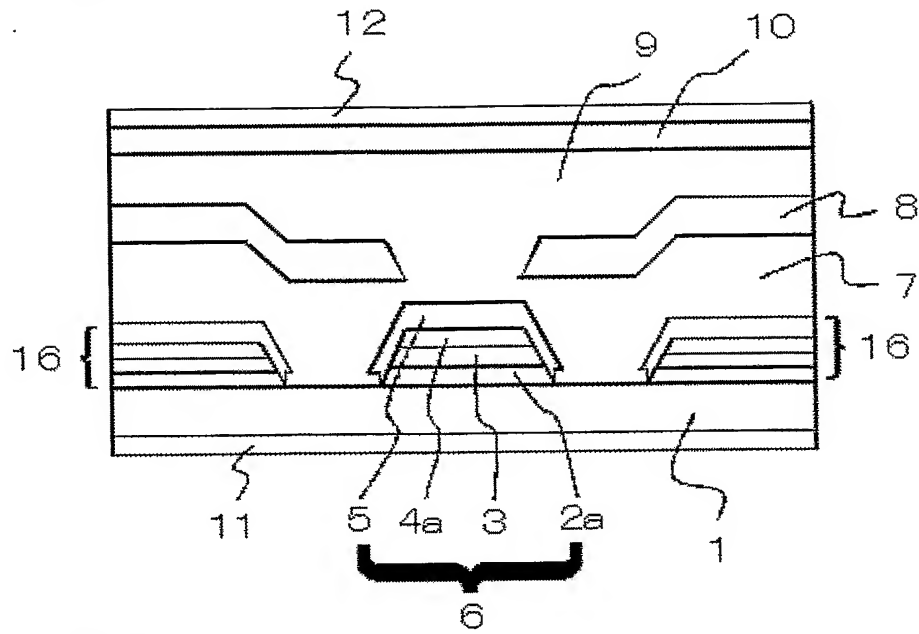
【図 3】



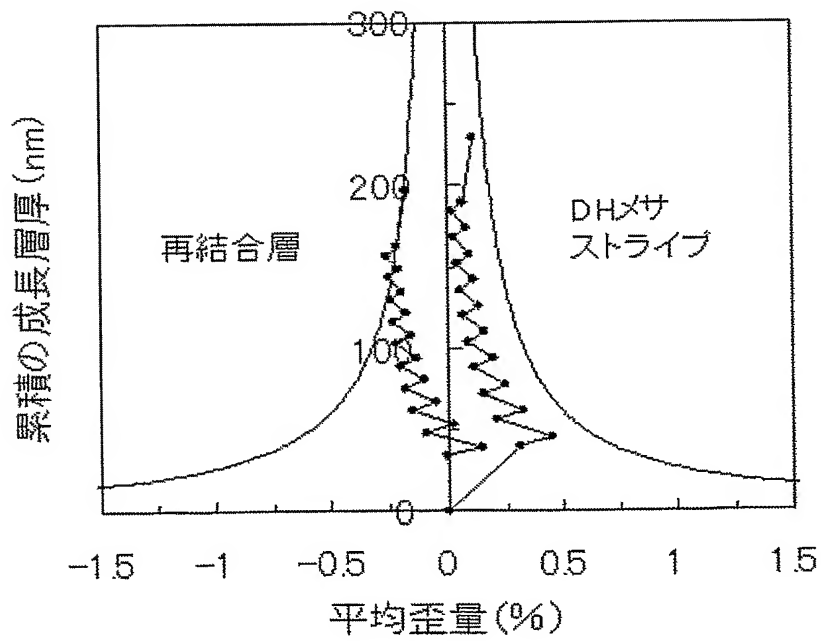
【図 4】



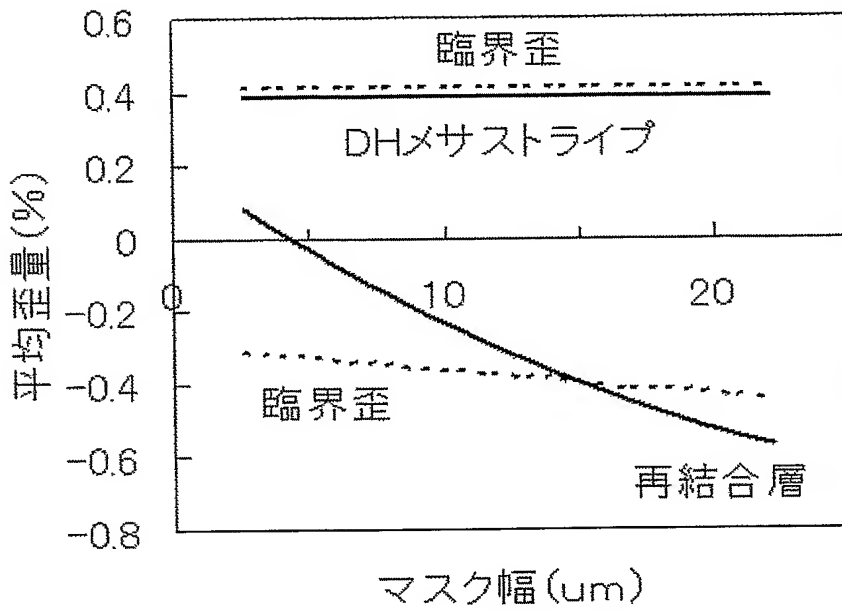
【図 5】



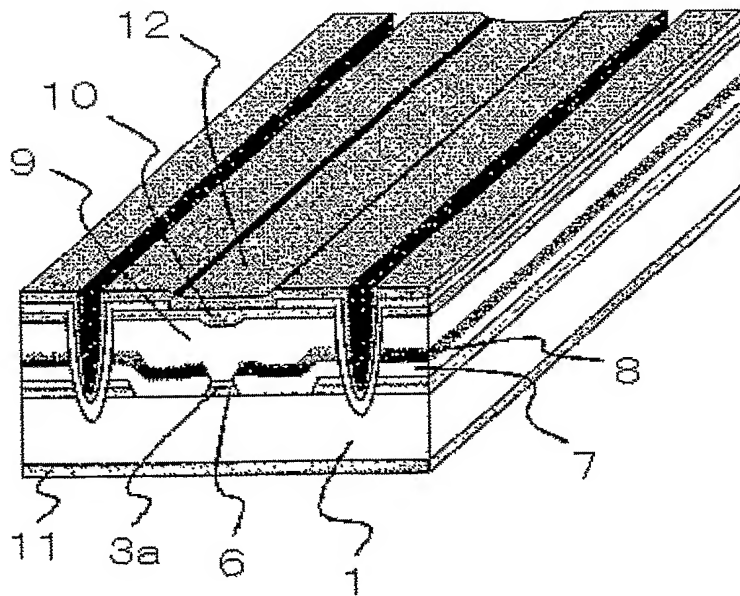
【図 6】



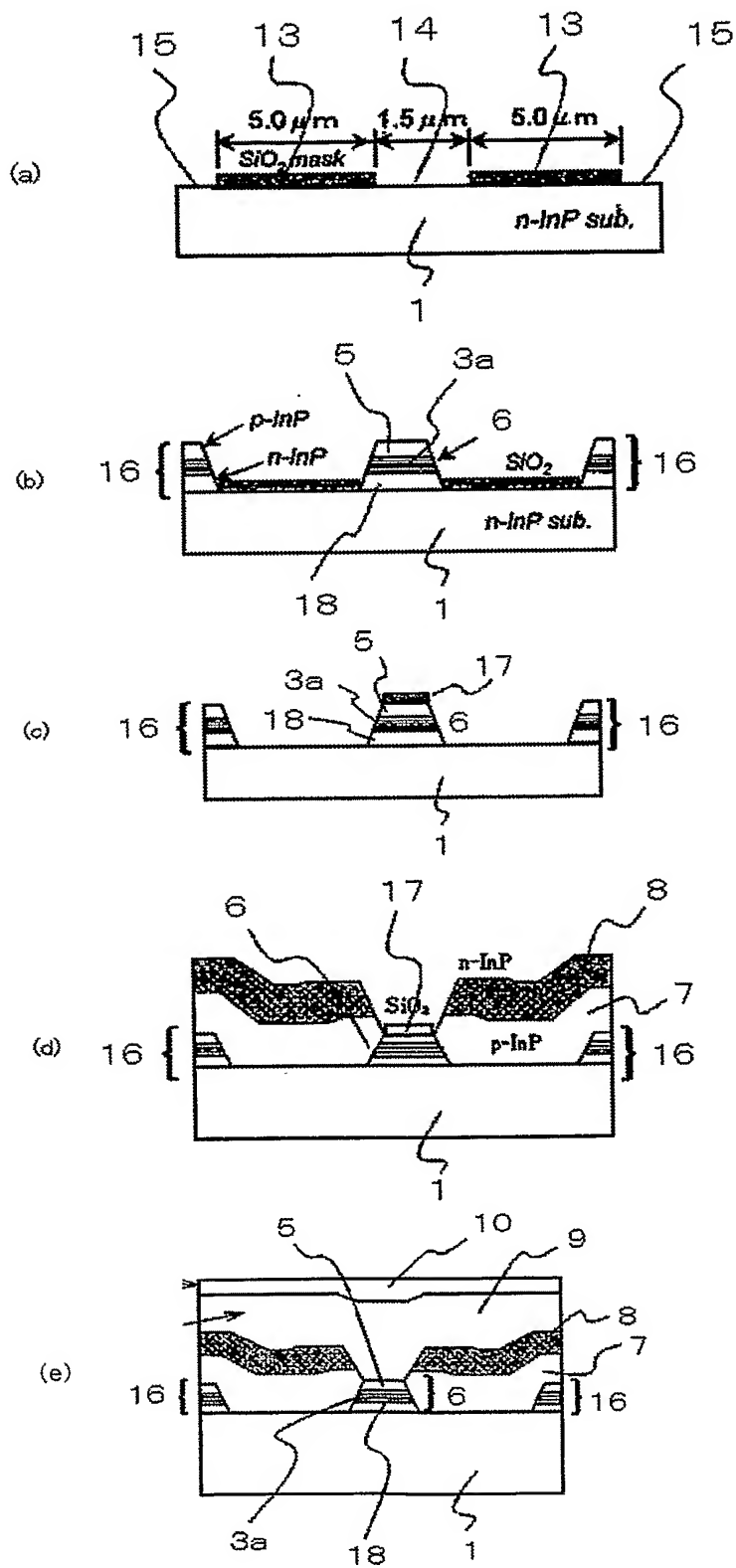
【図 7】



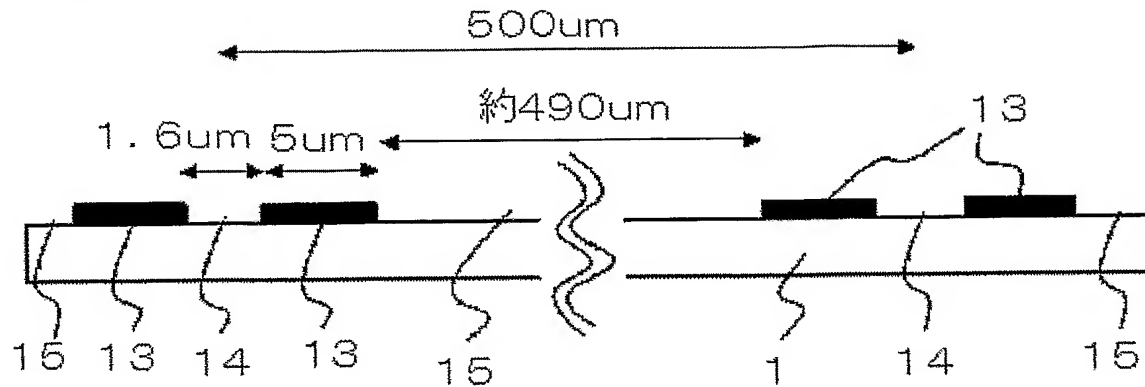
【図 8】



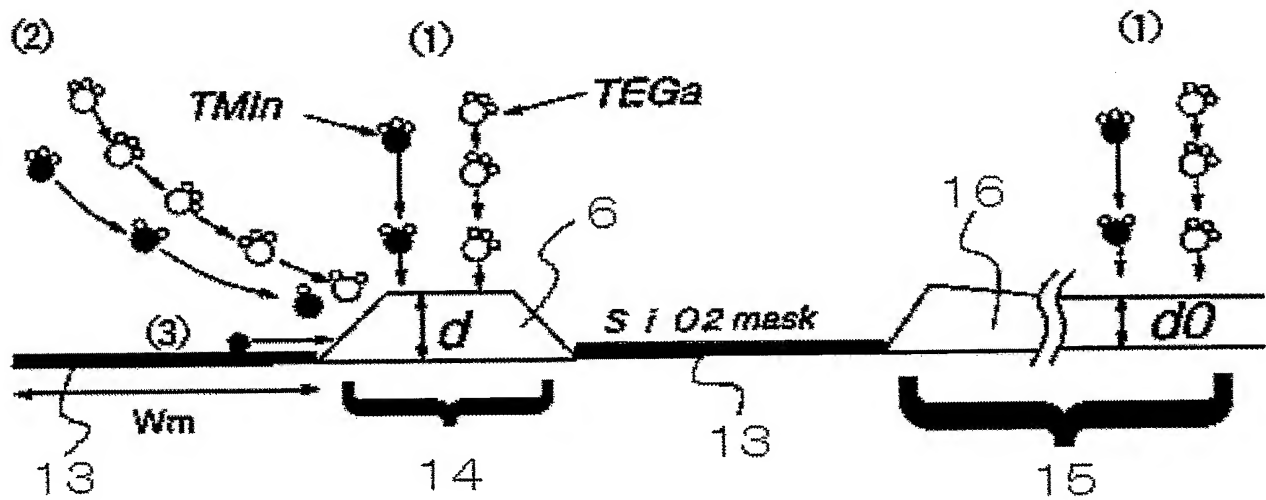
【図 9】



【図10】



【図11】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 選択MOVPE成長を用いて作製した半導体レーザにおいて、広幅部に成長した再結合層の格子緩和を抑制し、リーク電流が抑制され、信頼性の高い半導体レーザを実現する。

【解決手段】 選択MOVPE成長を用いて半導体レーザを作製する際に、酸化シリコンマスク13の間隙となる狭幅部14にエピタキシャル成長したDHメサストライプ6の平均歪量を格子緩和が起こらない範囲で圧縮歪側にずらすことにより、広幅部15に成長した再結合層16の引張歪を低減する。

【選択図】 図2

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 3 - 3 9 8 6 7 0
受付番号	5 0 3 0 1 9 6 3 3 4 3
書類名	特許願
担当官	第二担当上席 0 0 9 1
作成日	平成 1 5 年 1 2 月 1 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】	平成 1 5 年 1 1 月 2 8 日
-------	----------------------

特願 2 0 0 3 - 3 9 8 6 7 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 4 2 3 7]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都港区芝五丁目7番1号

氏 名

日本電気株式会社